

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-158381

(P2002-158381A)

(43) 公開日 平成14年5月31日 (2002.5.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	データベース* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 D 0 3 4
G 1 1 B 5/39		H 0 1 F 10/16	5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/16		10/187	5 F 0 8 3
10/187		H 0 1 L 43/12	

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-212595 (P2001-212595)

(22) 出願日 平成13年7月12日 (2001.7.12)

(31) 優先権主張番号 特願2000-275030 (P2000-275030)

(32) 優先日 平成12年9月11日 (2000.9.11)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 天野 実

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 斉藤 好昭

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

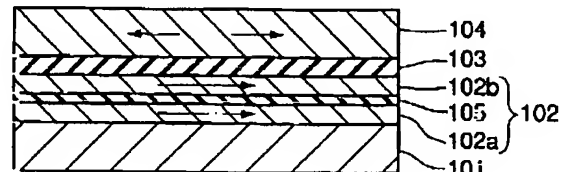
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 強磁性トンネル接合素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 熱処理を受けても Mn 系合金を含む反強磁性層からの Mn 拡散を有効に抑制することができ、特性および耐熱性に優れた強磁性トンネル接合素子を提供する。

【解決手段】 Mn を含有する反強磁性層 (101) と、反強磁性層上に形成された、第1および第2の2つの強磁性層 (102a、102b) の間に絶縁層またはアモルファス磁性層 (105) を挟んだ構造を有する磁化固着層 (102) と、磁化固着層上に形成されたトンネルバリア層 (103) と、トンネルバリア層上に形成された磁化自由層 (104) とを有する強磁性トンネル接合素子。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 Mnを含有する反強磁性層と、前記反強磁性層上に形成された、第1および第2の2つの強磁性層の間に絶縁層またはアモルファス磁性層を挟んだ構造を有する磁化固着層と、前記磁化固着層上に形成されたトンネルバリア層と、前記トンネルバリア層上に形成された磁化自由層とを具備したことを特徴とする強磁性トンネル接合素子。

【請求項2】 前記磁化固着層の絶縁層またはアモルファス磁性層が、前記反強磁性層に含まれるMnの拡散を防止する機能を有することを特徴とする請求項1記載の強磁性トンネル接合素子。

【請求項3】 前記磁化固着層の絶縁層が、前記第1の強磁性層を形成する強磁性材料の酸化物、窒化物または炭化物を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の強磁性トンネル接合素子。

【請求項4】 前記磁化固着層の絶縁層が、MnまたはMnより酸素、窒素または炭素と結合しやすい材料の酸化物、窒化物または炭化物を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の強磁性トンネル接合素子。

【請求項5】 Mnを含有する反強磁性層を形成し、前記反強磁性層上に第1の強磁性層、絶縁層またはアモルファス磁性層、および第2の強磁性層を積層して磁化固着層を形成し、前記磁化固着層上に絶縁材料を含むトンネルバリア層を形成し、前記トンネルバリア層上に強磁性材料を含む磁化自由層を形成することを特徴とする強磁性トンネル接合素子の製造方法。

【請求項6】 前記磁化固着層の第1の強磁性層上に、第1の強磁性層の強磁性材料、Mn、およびMnより酸素、窒素または炭素と結合しやすい材料からなる群より選択される少なくとも1種の材料と、酸素、窒素、および炭素からなる群より選択される少なくとも1種の材料とを含む絶縁材料を成膜して前記磁化固着層の絶縁層を形成することを特徴とする請求項5に記載の強磁性トンネル接合素子の製造方法。

【請求項7】 前記磁化固着層の第1の強磁性層を酸化雰囲気、窒化雰囲気または炭化雰囲気に暴露して、前記磁化固着層の絶縁層を形成することを特徴とする請求項5に記載の強磁性トンネル接合素子の製造方法。

【請求項8】 前記磁化固着層の第1の強磁性層上にMnまたはMnより酸素、窒素もしくは炭素と結合しやすい材料の薄膜を成膜し、前記薄膜を酸化雰囲気、窒化雰囲気または炭化雰囲気に暴露して、前記磁化固着層の絶縁層を形成することを特徴とする請求項5に記載の強磁性トンネル接合素子の製造方法。

【請求項9】 Mnを含む反強磁性層を形成し、第1の強磁性層、第1の強磁性層を形成する強磁性材料の酸化物、窒化物または炭化物を含む絶縁層、および第2の強磁性層を有する磁化固着層を形成した後、200℃以上の温度で熱処理を行うことにより、前記反強磁性層に含

まれるMnの一部を、前記第1の強磁性層中に拡散させて、前記絶縁層に含まれる酸素、窒素または炭素と結合させることを特徴とする請求項5に記載の強磁性トンネル接合素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高密度磁気ディスク装置における再生用磁気ヘッド、磁気メモリ装置、磁界センサーなどに適用される強磁性トンネル接合素子およびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】強磁性薄膜を用いた磁気抵抗効果素子は、磁気ヘッド、磁気センサーなどに用いられている。また、近年になって、半導体基板上に磁気抵抗効果素子を形成した磁気ランダムアクセスメモリ（MRAM）が提案され、高速動作、大容量、不揮発性を特徴とする次世代メモリ装置として注目されている。

【0003】磁気抵抗効果とは、強磁性体に磁場を印加すると強磁性体の磁化の向きに応じて電気抵抗が変化する現象である。こうした強磁性体の磁化の向きを情報の記録に用い、それに対応する電気抵抗の大小で情報を読み出すことによりメモリ装置（MRAM）として動作させることができる。近年、2つの強磁性層の間に絶縁層（トンネルバリア層）を挿入したサンドイッチ構造を含む強磁性トンネル接合において、トンネル磁気抵抗効果（TMR効果）により20%以上の磁気抵抗変化率が得られるようになった（J. Appl. Phys., 79, 4724 (1996)）。このことをきっかけとして、この効果を利用した強磁性トンネル接合磁気抵抗効果素子（TMR素子）を用いたMRAMが期待と注目を集めている。

【0004】MRAMにTMR素子を用いる場合、トンネルバリア層を挟む2つの強磁性層のうち、一方の強磁性層（固着層）の磁化方向を固着させ、他方の強磁性層（自由層）の磁化方向を変化させることにより“0”または“1”の情報を記録する。一方の強磁性層の磁化方向を固着させるためには、その強磁性層に接して反強磁性材料を含む反強磁性層を設けた構造が採用される。このような構造を有するTMR素子は、スピンバルブ型TMR素子（SV-TMR素子）と呼ばれる。

【0005】図1に従来の強磁性トンネル接合素子の基本構造を示す。図1において、反強磁性材料を含む反強磁性層101、磁化固着層102、絶縁材料を含むトンネルバリア層103、および磁化自由層104が順次積層されている。自由層104および固着層102に用いられる強磁性材料は、Co、FeおよびNiからなる群より選択される磁性金属を含む合金である。一方、反強磁性層101に用いられる反強磁性材料は、Ir-Mn、Pt-Mn、Ru-Rh-Mnなど、Mnを含む合金が一般的である。

【0006】ところで、MRAMなどの製造工程には、CVDによる層間絶縁層の成膜やメタルリフローなど、300～450℃の熱処理が含まれる。このような熱処理により、反強磁性層に含まれるMnが固着層中へ容易に拡散してトンネルバリア層近傍に達し、固着層のスピン偏極率を低下させて磁気抵抗変化率の低下という特性劣化を生じる。

【0007】この問題を防止するために、固着層中にTa、Ruなどの金属を含むMn拡散防止層を挿入することが試みられている(Appl. Phys. Lett., 76, 3792 (2000))、(Appl. Phys. Lett., 76, 2424 (2000))。しかし、これらの金属元素を用いた場合、300℃以上では粒界拡散が起こるため、MRAMなどの製造工程中に実施される300～450℃の熱工程を経るとMn拡散防止層として機能しなくなるおそれがある。

【0008】また、反強磁性層と固着層との界面に高融点金属を含むMn拡散防止層を挿入することも試みられている(Appl. Phys. Lett., 76, 3792 (2000))。しかし、反強磁性層と固着層との界面に拡散防止層を設けると固着層の磁化の固着度合が著しく低下するうえに、拡散防止層として用いた高融点金属自身が拡散するおそれもある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、熱処理を受けてもMn系合金を含む反強磁性層からのMn拡散を有効に抑制することができ、特性および耐熱性に優れた強磁性トンネル接合素子(TMR素子)を提供するとともに、そのようなTMR素子を簡便に製造できる方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の強磁性トンネル接合素子は、Mnを含有する反強磁性層と、前記反強磁性層上に形成された、第1および第2の2つの強磁性層の間に絶縁層またはアモルファス磁性層を挟んだ構造を有する磁化固着層と、前記磁化固着層上に形成されたトンネルバリア層と、前記トンネルバリア層上に形成された磁化自由層とを具備している。

【0011】本発明の強磁性トンネル接合素子の製造方法は、Mnを含有する反強磁性層を形成し、前記反強磁性層上に第1の強磁性層、絶縁層またはアモルファス磁性層、および第2の強磁性層を積層して磁化固着層を形成し、前記磁化固着層上に絶縁材料を含むトンネルバリア層を形成し、前記トンネルバリア層上に強磁性材料を含む磁化自由層を形成するものである。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態に係る強磁性トンネル接合素子およびその製造方法について、より詳細に説明する。

【0013】図2を用いて本発明の一実施形態に係る強

磁性トンネル接合素子の基本構造を示す。図2に示されるように、Mnを含有する反強磁性層101、下部強磁性層(第1の強磁性層)102a、絶縁層またはアモルファス磁性層105、および上部強磁性層(第2の強磁性層)102bを有する磁化固着層102、絶縁材料を含むトンネルバリア層103、および強磁性材料を含む磁化自由層104が順次積層されている。なお、これらの各層の積層順序は図2の場合と逆でもよい。

【0014】また、本発明に係る強磁性トンネル接合素子は、1層のトンネルバリア層を有するものに限らず、2層以上の多層のトンネルバリア層を有していてもよい。

【0015】図2に示す強磁性トンネル接合素子と、図1に示す従来の強磁性トンネル接合素子との違いは、固着層102中の反強磁性層101からもトンネルバリア層103からも離れた部位(下部強磁性層102aと上部強磁性層102bとの間)に絶縁層またはアモルファス磁性層105を設けたことである。絶縁層またはアモルファス磁性層105は、反強磁性層101に含まれるMnの拡散を防止する機能を発揮する。したがって、以下においては、絶縁層またはアモルファス磁性層105をMn拡散防止層として説明する。

【0016】Mn拡散防止層を絶縁材料で形成した場合、従来のMn拡散防止層に用いられる金属と異なり、1nm以下の厚さの絶縁材料でもMnの粒界拡散を十分抑制することができる。このため、製造工程中に300℃を超える熱処理を受けても、安定した特性を示す強磁性トンネル接合素子が得られる。

【0017】Mn拡散防止層に用いられる絶縁材料としては、一般式M-Xで表される酸化物、窒化物または炭化物が用いられる。ここで、Mは第1の強磁性層に含まれる強磁性材料、Mn、およびMnより酸素、窒素または炭素と結合しやすい元素からなる群より選択される少なくとも1種の材料であり、Xは酸素、窒素、および炭素からなる群より選択される少なくとも1種の材料である。Mn拡散防止層にこれらの材料を用いるのは以下のような理由による。ここでは、酸化物を含むMn拡散防止層を代表例として説明する。

【0018】Mn拡散防止層にMnより酸化されにくい元素の酸化物を用いた場合、熱処理により反強磁性層から拡散したMnによって還元され、その元素が固着層の強磁性層中を拡散する。その元素が非磁性材料であり、その元素が拡散してトンネルバリア層近傍に達した場合、固着層のスピン偏極率の低下を招き、特性劣化につながる。

【0019】一方、Mn拡散防止層にMnまたはMnより酸化されやすい元素の酸化物を用いた場合、反強磁性層から拡散したMnによって還元されることがないため、安定な拡散防止層として機能する。Mnより酸化されやすい元素としては、Ti、Ta、V、Al、Eu、

Scなどが挙げられる。また、Mn拡散防止層として固着層を形成する第1の強磁性層に含まれる強磁性材料（Fe、CoおよびNiからなる群より選択される少なくとも1種）の酸化物を用いてもよい。さらに、Mn拡散防止層として強磁性材料の酸化物を用いれば、還元されたとしても強磁性金属元素が生成するため、固着層のスピンの偏極率の低下など特性変化を起こすこともない。したがって、Mn拡散防止層に用いられる酸化物としては、Fe、Co、Ni、Mn、Ti、Ta、V、Al、EuおよびScからなる群より選択される少なくとも1種の元素の酸化物が好ましい。窒化物または炭化物についても上記の同様である。

【0020】Mn拡散防止層をアモルファス磁性材料で形成した場合にも、絶縁材料の場合と同様に、Mnの粒界拡散を防止することができる。これは、固着層の第1の強磁性層中に存在していた粒界がアモルファス磁性層により途切れるからである。また、第1および第2の2つの強磁性層間にアモルファス磁性層を挟んだ場合、固着層中において磁気的結合が弱まることのないので、固着層の磁化の固着度合が劣化することがない。アモルファス磁性材料を含むMn拡散防止層では、絶縁材料を含むMn拡散防止層のようにトンネル抵抗が生じることがないため、厚みを厚くしても素子の抵抗を増加させることがない。したがって、製造工程中に300℃を超える熱処理を受けても、特性の劣化のない強磁性トンネル接合素子が得られる。

【0021】Mn拡散防止層に用いられるアモルファス磁性材料としては、一般式 $Mm_{100-x}Y_x$ （ここで、MmはCo、FeおよびNiからなる群より選択される少なくとも1種の元素、YはB、Si、Zr、P、Mo、AlおよびNbからなる群より選択される少なくとも1種の元素であり、 $3 \leq x \leq 16$ ）で表されるものが好ましい。

【0022】上述したようにMn拡散防止層として機能する絶縁層またはアモルファス磁性層105は、反強磁性層101にもトンネルバリア層103にも接しないように、下部強磁性層（第1の強磁性層）102aと上部強磁性層（第2の強磁性層）102bとの間に挿入されている。これは、以下のような理由による。すなわち、Mn拡散防止層を反強磁性層と固着層との界面に挿入すると、固着層の固着度合が著しく低下する。また、Mn拡散防止層をトンネルバリア層と固着層との界面に挿入すると、スピントンネル特性の劣化が生じる。

【0023】絶縁材料を含むMn拡散防止層の厚さは、固着層の磁化の固着度合を劣化させず、また、Mn拡散防止層でのトンネル抵抗が強磁性トンネル接合部のそれより十分小さくなるように設定することが好ましい。このため、Mn拡散防止層の厚さは2nm以下であることが好ましく、1nm以下であることがより好ましい。一方、絶縁材料を含むMn拡散防止層が薄すぎると連続膜

になりにくく、Mnの拡散を防止する効果が得られなくなるおそれがあるので、Mn拡散防止層の厚さは0.2nm以上が好ましく、0.5nm以上がより好ましい。

【0024】アモルファス磁性材料を含むMn拡散防止層の厚さは、第1の強磁性層中の粒界を中断することができればよいので、0.2nm以上であれば十分であり、0.5nm以上であることが好ましい。アモルファス磁性材料を含むMn拡散防止層の厚さの上限は特に限定されない。

【0025】本発明に係る強磁性トンネル接合素子を製造するには、固着層の形成工程において、下部強磁性層（第1の強磁性層）102a、Mn拡散防止層105、および上部強磁性層（第2の強磁性層）102bを形成する。

【0026】アモルファス磁性材料を含むMn拡散防止層を形成するには、一般式 $Mm_{100-x}Y_x$ で表されるアモルファス磁性材料をスパッタリングすればよい。

【0027】絶縁材料を含むMn拡散防止層を形成するには、反応性スパッタリングなどの方法により、M-Xで表される酸化物、窒化物または炭化物の薄膜を成膜してもよい。また、固着層を形成する第1の強磁性層を酸化雰囲気（酸素プラズマなど）、窒化雰囲気（窒素プラズマなど）または炭化雰囲気（炭素プラズマなど）に暴露して、その表面に固着膜の絶縁層を形成してもよい。さらに、固着層の第1の強磁性層上にMnまたはMnより酸素、窒素もしくは炭素と結合しやすい材料の薄膜を成膜し、この薄膜を酸化雰囲気、窒化雰囲気または炭化雰囲気に暴露して、その表面に固着膜の絶縁層を形成してもよい。

【0028】なお、本発明は、強磁性層、非磁性層および強磁性層の積層構造を有し、2つの強磁性層が反強磁性結合した磁化固着層（いわゆるシンセティック膜）に適用することもできる。

【0029】このような積層構造の磁化固着層において、非磁性層が強磁性層より酸化されにくい元素、例えばIr、Ru、Cuなどを含む場合には、非磁性層の表面を酸化するかまたは非磁性層の表面に酸素を吸着させ、その上に強磁性層を積層した後、熱処理して強磁性材料の酸化物を形成してMn拡散防止層として用いてもよい。

【0030】上記のような積層構造の磁化固着層において、反強磁性層に接する少なくとも一方の強磁性層を、本発明に従って、2つの強磁性層の間に絶縁層またはアモルファス磁性層（Mn拡散防止層）を挟んだ構造にしてもよい。また、上記のような積層構造の磁化固着層において、非磁性層を挟む2つの強磁性層の両方を、2つの強磁性層の間に絶縁層またはアモルファス磁性層を挟んだ構造にしてもよい。

【0031】本発明の他の実施形態に係る方法においては、反強磁性層101を形成し、下部強磁性層（第1の強磁性層）102a、第1の強磁性層に含まれる強磁性

材料の酸化物、窒化物または炭化物を含むMn拡散防止層105、および上部強磁性層(第2の強磁性層)102bを形成した後、熱処理を行ってもよい。この熱処理により、反強磁性層101に含まれるMnの一部を、反強磁性層101に接する下部強磁性層102a中を拡散させ、Mn拡散防止層105に含まれる酸素、窒素または炭素と結合させる。この結果、Mn拡散防止層105に含有されていた強磁性材料が生成するので、固着層のスピンの偏極率の低下を防止できる。このときの熱処理温度は、Mnの拡散が起こり得る200℃以上であることが好ましく、熱処理時間を短縮するためには250℃以上とすることが好ましく、さらに300℃以上とすることがより好ましい。なお、本発明においては、絶縁材料を含むMn拡散防止層中またはその近傍に、他の元素と結合していない状態または結合が不十分な状態の酸素原子、窒素原子または炭素原子が存在していてもよい。

【0032】次に、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

実施形態1

図3(A)～(C)は本実施形態に係るSV-TMR素子の製造方法を工程順に示す断面図である。

【0033】図3(A)に示すように、半導体基板(図示せず)上に、高真空スパッタリングにより、Wからなる下部配線電極層201、Taからなるバッファ層202、Pt-Mnからなる反強磁性層203、約2nmのCoFeからなる下部強磁性層(第1の強磁性層)204aを順次積層する。この下部強磁性層204a上に、約0.4nmのTa薄膜を成膜した後、その表面を酸素プラズマ雰囲気中に約20秒間さらすことによりTaをプラズマ酸化して、Ta酸化物からなるMn拡散防止層205を形成する。

【0034】図3(B)に示すように、Mn拡散防止層205上に約2nmのCoFeからなる上部強磁性層(第1の強磁性層)204bを積層する。こうして、下部強磁性層204a、Mn拡散防止層205および上部強磁性層204bを有する磁化固着層204を形成する。次に、 Al_2O_3 からなるトンネルバリア層206を積層した後、トンネルバリア層206表面をプラズマ酸化する。このトンネルバリア層206上に、 Co_7Fe_3 からなる磁化自由層207、磁化自由層207を軟磁性化するためのNi-Fe層208、およびWからなる保護層209を順次積層する。

【0035】図3(C)に示すように、保護層209上に下部配線電極の形状を規定するフォトレジストパターンを形成し、これをマスクとして上記各層をイオンミリングして下部配線電極のパターンを形成する。上記フォトレジストパターンを除去した後、トンネル接合部の形状を規定するフォトレジストパターンを形成し、これをマスクとして下部配線電極より上部の各層をイオンミリングしてトンネル接合部のパターンを形成する。上記フ

ォトレジストパターンを除去した後、反応性スパッタリングにより SiO_2 を含む層間絶縁膜210を堆積する。その後、約300℃の真空中で約7kOeの磁場を印加した状態で約2時間アニールを行い、磁化固着層204の磁化を固着させる。さらに、層間絶縁膜210にコンタクトホールを開口した後、上部配線電極211を形成し、SV-TMR素子を製造する。

【0036】このSV-TMR素子に約5kOeの磁場を印加しながら真空中でアニールした。アニール温度を300～400℃の範囲で変化させても、約45%の磁気抵抗変化率が得られた。

【0037】一方、Mn拡散防止層としてTaを酸化せずにそのまま用いた以外は図2と同様の構造を有するSV-TMR素子を製造した。このSV-TMR素子に対して上記と同様なアニールを行った。その結果、アニール温度を350℃としたとき磁気抵抗変化率は約20%に低下し、アニール温度を400℃としたとき磁気抵抗変化率は約5%に低下した。

【0038】以上のように、Mn拡散防止層にTa酸化物を用いることにより耐熱性が改善されることがわかった。

【0039】実施形態2

図4(A)～(D)は本発明に係る他のSV-TMR素子の製造方法を工程順に示す断面図である。このSV-TMR素子は、磁化自由層の上下にそれぞれトンネルバリア層および磁化固着層が形成された二重トンネル接合を有するデュアルスピンバルブ型TMR素子であり、MRAMに用いられる。このTMR素子は半導体基板上に形成された集積回路の一部であり、TMR素子は絶縁膜上に形成された下部配線電極上に形成される。この下部配線電極は、絶縁膜を貫通するプラグを通して、半導体基板主面に形成された選択トランジスタと接続される。

【0040】図4(A)に示すように、図示しない半導体基板上に層間絶縁膜を形成し、プラグを形成した後、高真空スパッタリングにより、 Al/W からなる下部配線電極層301、Taからなるバッファ層302、Ir-Mnからなる第1反強磁性層303、約2nmの Co_9Fe からなる第1下部強磁性層304aを順次積層する。その後、酸素雰囲気中に1時間さらして酸化し、第1下部強磁性層304aの表面に約0.5nmの第1拡散防止層305を形成する。

【0041】図4(B)に示すように、第1拡散防止層305上に、約2nmの Co_7Fe_3 からなる第1上部強磁性層304bを積層する。こうして、第1下部強磁性層304a、第1拡散防止層305および第1上部強磁性層304bを有する第1磁化固着層304を形成する。次に、 Al_2O_3 からなる第1トンネルバリア層306、 Co_9Fe からなる磁化自由層307、 Al_2O_3 からなる第2トンネルバリア層308、約2.5nmの Co_7Fe_3 からなる第2下部強磁性層309aを順次積層

する。その後、酸素雰囲気中に1時間さらして酸化し、第2下部強磁性層309aの表面に約0.5nmの第2拡散防止層310を形成する。

【0042】図4(C)に示すように、第2拡散防止層310上に、約1.5nmの Co_9Fe からなる第2上部強磁性層309bを積層する。こうして、第2下部強磁性層309a、第2拡散防止層310および第2上部強磁性層309bを有する第2磁化固着層209を形成する。次に、 Ir-Mn からなる第2反強磁性層311、 Ta からなる保護層312を順次積層する。

【0043】以上のように、この実施形態においては、それぞれ第1および第2の Mn 拡散防止層305、310を挟む上下2層の強磁性層の材料を変えている。これは、磁化固着層304、309の保磁力を小さくするためである。ただし、用途によっては、 Mn 拡散防止層を挟む上下2層の強磁性層の材料を変える必要はない。

【0044】図4(D)に示すように、保護層312上に下部配線電極の形状を規定するフォトリソパターンを形成し、これをマスクとして上記各層をイオンミリングして下部配線電極のパターンを形成する。上記フォトリソパターンを除去した後、トンネル接合部の形状を規定するフォトリソパターンを形成し、これをマスクとして下部配線電極より上部の各層をイオンミリングしてトンネル接合部のパターンを形成する。上記フォトリソパターンを除去した後、反応性スパッタリングにより SiO_2 からなる層間絶縁膜313を堆積する。その後、約325℃の真空中で約7kOeの磁場を印加した状態で2時間アニールを行う。この工程によって、第1および第2の反強磁性層303、311中の Mn が拡散してそれぞれ第1および第2の Mn 拡散防止層305、310に到達し、磁化固着層の強磁性材料の酸化物が還元され、第1および第2の Mn 拡散防止層305、310には Mn 酸化物が含まれるようになる。これと同時に、第1および第2の磁化固着層304、309の磁化の向きが揃う。さらに、層間絶縁膜313にコンタクトホールを開いた後、上部配線電極314を形成し、MRAM中のSV-TMR素子を製造する。

【0045】この後、MRAMを完成させるための層間絶縁膜形成工程や配線電極形成工程において、SV-TMR素子は300～400℃の熱処理工程を経験する。従来のSV-TMR素子では、これらの熱処理工程が原因となって、MRAM完成後に15%程度の磁気抵抗変化率が得られなかった。これに対して、本実施形態のSV-TMR素子では、MRAM完成後に約40%の磁気抵抗変化率が得られ、優れた特性を示した。なお、このような効果は、 Mn 拡散防止層に窒化物または炭化物を用いた場合にも得られる。

【0046】図5に図4(D)のSV-TMR素子を具備したMRAMのメモリセル構造の一例を示す。図5に示すように、シリコン基板401には、ゲート電極40

2、ソース、ドレイン領域403、404を含むMOSトランジスタが形成されている。ゲート電極402は読み出し用のワードライン(WL1)として用いられる。ゲート電極402上には絶縁層および書き込み用のワードライン(WL2)406が形成されている。MOSトランジスタのドレイン領域404には絶縁層に埋め込まれたプラグ405が接続され、さらにプラグ405上には下部配線電極層301が接続されている。この下部配線電極層301上の書き込み用のワードライン(WL2)406の上に対応する位置に、図4(D)に示したようなデュアルスピンバルブ型のTMR素子300が形成されている。このTMR素子300上にビットライン(BL)となる上部配線電極314が形成されている。このような構造のMRAMは優れた特性を示す。

【0047】実施形態3

図6は本実施形態に係るSV-TMR素子を示す断面図である。このSV-TMR素子は、図4(D)のSV-TMR素子と同様に、磁化自由層の上下にそれぞれトンネルバリア層および磁化固着層が形成された二重トンネル接合を有するデュアルスピンバルブ型のTMR素子である。さらに、このSV-TMR素子では、非磁性層を介して反強磁性結合した2つの強磁性層を含む積層型の磁化固着層(いわゆるシンセティック膜)を用いている。このような積層型磁化固着層を用いると、磁化固着層からの磁場の漏洩が抑制されるため、磁化固着層と磁化自由層との間の磁気的結合に起因する特性の変化を抑えることができる。また、本実施形態のSV-TMR素子は、半導体基板上に形成された集積回路の一部であり、TMR素子部分は絶縁膜上に形成された下部配線電極上に作製される。この下部配線電極は、絶縁膜を貫通するプラグを通して、基板主面に形成された選択トランジスタと接続されている。本実施例のTMR素子の積層構造は、層間絶縁膜およびプラグ形成を終了した基板上に、高真空スパッタリング法にて順次積層して作製したものである。

【0048】このTMR素子では、基板側から以下の各層が積層されている。

Ni-Cr-Pt からなるバッファ層601
 Pt-Mn からなる第1反強磁性層602
 約2nmの Co_6Fe_4 からなる強磁性層603a
 約1nmの $(\text{Co}_6\text{Fe}_4)_{0.95}\text{B}_{0.05}$ からなるアモルファス磁性層604a
 約2nmの Co_6Fe_4 からなる強磁性層603b
 約1.2nmの Ru からなる非磁性層605
 約2nmの Co_6Fe_4 からなる強磁性層603c
 約1nmの $(\text{Co}_6\text{Fe}_4)_{0.95}\text{B}_{0.05}$ からなるアモルファス磁性層604b
 約2nmの Co_6Fe_4 からなる強磁性層603d
 Al_2O_3 からなる第1トンネルバリア層606
 2nmの $\text{Co}_3\text{Fe}_3\text{Ni}_4$ からなる磁化自由層607

Al₂O₃からなる第2トンネルバリア層608
 約2nmのCo₆Fe₄からなる強磁性層609a
 約1nmの(Co₆Fe₄)_{0.95}B_{0.05}からなるアモルファス磁性層610a
 約2nmのCo₆Fe₄からなる強磁性層609b
 約1.2nmのRuからなる非磁性層611
 約2nmのCo₆Fe₄からなる強磁性層609c
 約1nmの(Co₆Fe₄)_{0.95}B_{0.05}からなるアモルファス磁性層610b
 約2nmのCo₆Fe₄からなる強磁性層609d
 Pt-Mnからなる第2反強磁性層612
 Taからなる保護層613。

【0049】強磁性層603a、アモルファス磁性層604a、強磁性層603b、非磁性層605、強磁性層603c、アモルファス磁性層604bおよび強磁性層603dにより、第1の積層型磁化固着層603が形成されている。また、強磁性層609a、アモルファス磁性層610a、強磁性層609b、非磁性層611、強磁性層609c、アモルファス磁性層610bおよび強磁性層609dにより、第2の積層型磁化固着層609が形成されている。それぞれ強磁性層、アモルファス磁性層および強磁性層を含むユニットは全体として1つの強磁性層とみなすことができる。

【0050】このように、第1および第2の積層型磁化固着層603、609において、非磁性層を挟む2つの強磁性層は、いずれも強磁性層、アモルファス磁性層および強磁性層を有するものである。各積層型磁化固着層603、609には2つのアモルファス磁性層が含まれる。このうち、反強磁性層602、612に近い側のアモルファス磁性層604a、610bが、Mn拡散防止層として機能する。他方のアモルファス磁性層604b、610aは、各積層型磁化固着層603、609の非磁性層605、611を挟む2つの強磁性層ユニットの磁化を同じ強さにするために用いられている。

【0051】このような積層構造のSV-TMR素子に対し、約320℃で約10時間の熱処理を行った。その結果、特性の劣化は認められず、良好な素子特性を示した。

【0052】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、磁化固着層中に絶縁材料またはアモルファス磁性材料を含むMn拡散防止層を設けることにより、トンネルバリア近傍へのMnおよびその他の非磁性材料の拡散を抑制することができ、特性および耐熱性に優れた強磁性トンネル接合素子を高歩留まりかつ安価に提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の強磁性トンネル接合素子の基本構造を示す断面図。

【図2】本発明に係る強磁性トンネル接合素子の基本構造を示す断面図。

【図3】本発明の実施形態1における強磁性トンネル接合素子の製造方法を工程順に示す断面図。

【図4】本発明の実施形態2における強磁性トンネル接合素子の製造方法を工程順に示す断面図。

【図5】本発明の一実施形態に係る強磁性トンネル接合素子を用いたMRAMのメモリセルの一例を示す断面図。

【図6】本発明の実施形態3における強磁性トンネル接合素子を示す断面図。

【符号の説明】

101…反強磁性層
 102…磁化固着層
 102a…下部強磁性層
 102b…上部強磁性層
 103…トンネルバリア層
 104…磁化自由層
 105…Mn拡散防止層
 201…下部配線電極層
 202…バッファ層
 203…反強磁性層
 204…磁化固着層
 204a…下部強磁性層
 204b…上部強磁性層
 205…Mn拡散防止層
 206…トンネルバリア層
 207…磁化自由層
 208…Ni-Fe層
 209…保護層
 210…層間絶縁膜
 211…上部配線電極
 301…下部配線電極層
 302…バッファ層
 303…第1反強磁性層
 304…第1磁化固着層
 304a…第1下部強磁性層
 304b…第1上部強磁性層
 305…第1拡散防止層
 306…第1トンネルバリア層
 307…磁化自由層
 308…第2トンネルバリア層
 309…第2磁化固着層
 309a…第2下部強磁性層
 309b…第2上部強磁性層
 310…第2拡散防止層
 311…第2反強磁性層
 312…保護層
 313…層間絶縁膜
 314…上部配線電極
 401…シリコン基板
 402…ゲート電極

403、404…ソース、ドレイン領域

405…プラグ

406…書き込み用のワードライン

601…バッファ層

602…第1反強磁性層

603…第1磁化固着層

603a、603b、603c、603d…強磁性層

604a、604b…アモルファス磁性層

605…非磁性層

606…第1トンネルバリア層

607…磁化自由層

608…第2トンネルバリア層

609…第2磁化固着層

609a、609b、609c、609d…強磁性層

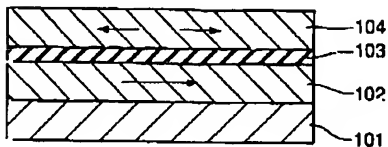
610a、610b…アモルファス磁性層

611…非磁性層

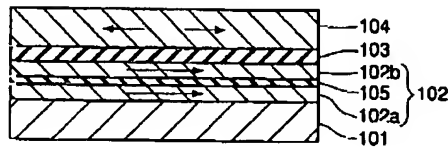
612…第2反強磁性層

613…保護層

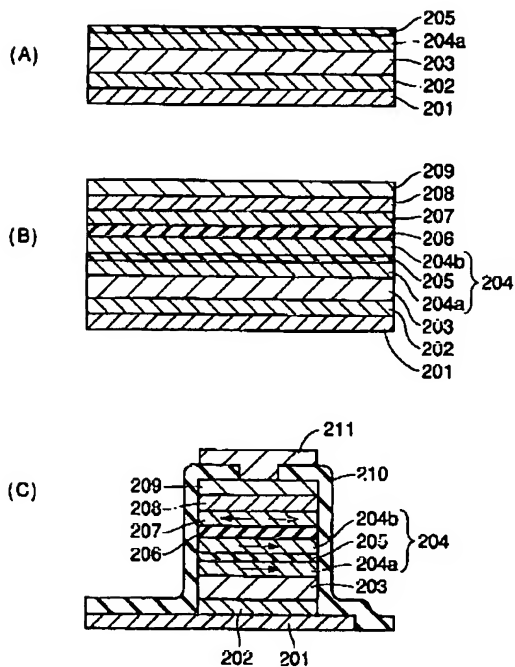
【図1】



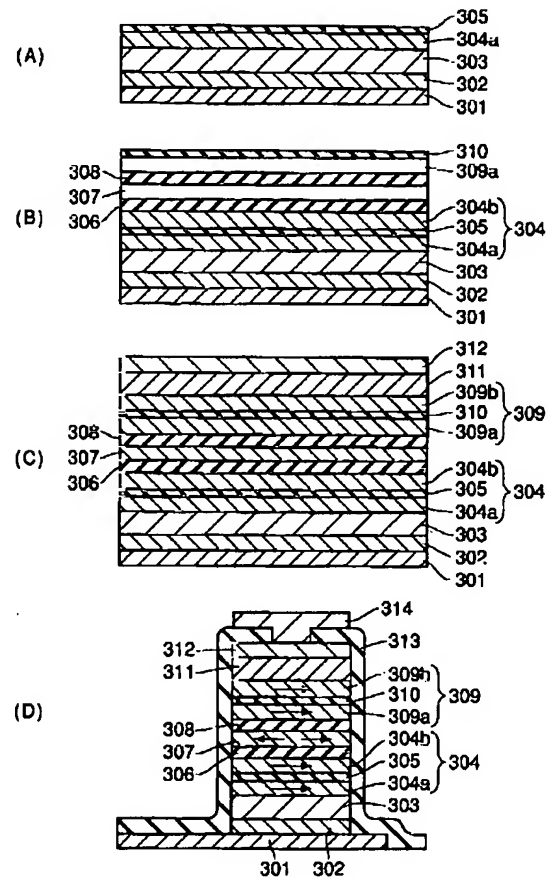
【図2】



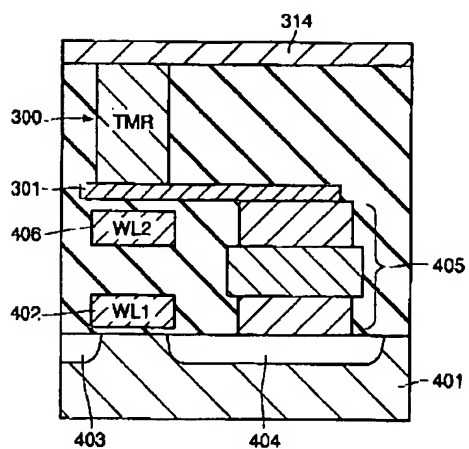
【図3】



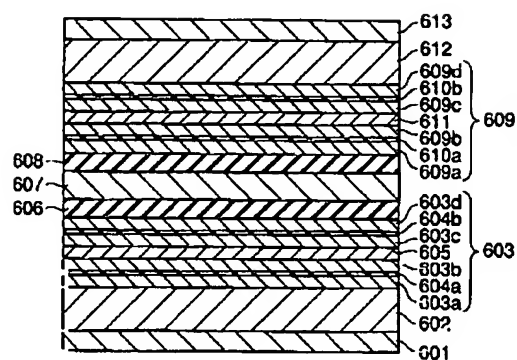
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
H01L 27/105
43/12

識別記号

F I
H01L 27/10
G01R 33/06

447
R

(参考)

Fターム(参考) 2G017 AD55 AD62 AD63 AD65
5D034 BA03 BA05 BA15 BA21 CA02
CA08 DA07
5E049 AA01 AA04 AA07 AA09 AC00
AC01 AC05 CB02
5F083 FZ10 GA25 GA30 JA60 PR22
PR33